

REFLECTION/REDUCTION PROJECTION OPTICAL SYSTEM, PROJECTION ALIGNER COMPRISING IT, AND EXPOSURE METHOD USING THE ALIGNER

Publication Number: 2000-100694 (JP 2000100694 A) , April 07, 2000

Inventors:

- TAKAHASHI YUTO

Applicants

- NIKON CORP

Application Number: 10-267706 (JP 98267706) , September 22, 1998

International Class:

- H01L-021/027
- G02B-017/08
- G03F-007/20

Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide excellent imaging performance with about six reflection surfaces while minimizing the diameter of reflection mirror. **SOLUTION:** Related to a reflection/reduction imaging optical system 100 which, comprising a first reflection optical system 10 for imaging the object on a first surface R onto a second surface and a second reflection optical system 20 for imaging the image on the second surface onto a third surface W, forms a reduced image of the object of the first surface R onto the third surface W, the first reflection optical system 10 comprises a first mirror pair comprising two reflection mirrors M1 and M2, the second reflection optical system 20 comprises a second mirror comprising two reflection mirrors M3 and M4 and a third mirror pair comprising two reflection mirrors M5 and M6, and the light from the first surface R forms an intermediate image on the second surface by way of the first mirror pair, while the light from the intermediate image is guided to the third surface W by way of the second and third mirror pairs, in this order. **COPYRIGHT:** (C)2000,JPO

JAPIO

© 2004 Japan Patent Information Organization. All rights reserved.

Dialog® File Number 347 Accession Number 6514977

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-100694

(P2000-100694A)

(43)公開日 平成12年4月7日(2000.4.7)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
H 01 L 21/027		H 01 L 21/30	5 1 7 2 H 087
G 02 B 17/08		G 02 B 17/08	5 F 046
G 03 F 7/20	5 2 1	G 03 F 7/20	5 2 1
		H 01 L 21/30	5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全12頁)

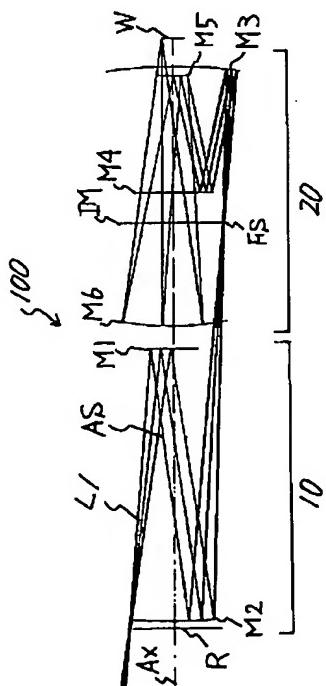
(21)出願番号	特願平10-267706	(71)出願人	000004112 株式会社ニコン 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
(22)出願日	平成10年9月22日(1998.9.22)	(72)発明者	高橋 友刀 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内 Fターム(参考) 2H087 KA21 NA02 NA05 PA06 RA03 RA37 TA02 TA06 UA00 5F046 AA22 BA05 CB03 CB05 CB17 CB25

(54)【発明の名称】 反射縮小投影光学系、該光学系を備えた投影露光装置および該装置を用いた露光方法

(57)【要約】

【目的】反射面を6面程度しながらも、反射鏡の径を小さく抑えつつも極めて優れた結像性能を達成する。

【構成】第1面上の物体を第2面上に結像する第1反射光学系と、前記第2面上の像を第3面上に結像する第2反射光学系とを有し、前記第3面上に前記第1面上の物体の縮小像を形成する反射縮小結像光学系において、前記第1反射光学系は、2枚の反射鏡よりなる第1ミラー対からなり、前記第2反射光学系は、2枚の反射鏡よりなる第2ミラー対と、2枚の反射鏡よりなる第6反射鏡とよりなる第3ミラー対からなり、前記第1面上からの光は前記第1ミラー対を経由した後に前記第2面上に中間像を形成し、該中間像からの光は前記第2及び第3ミラー対を順に経由して前記第3面上へ導かれる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】第1面上の物体を第2面上に結像する第1反射光学系と、前記第2面上の像を第3面上に結像する第2反射光学系とを有し、前記第3面上に前記第1面の物体の縮小像を形成する反射縮小結像光学系において、前記第1反射光学系は、第1反射鏡と第2反射鏡よりなる第1ミラー対からなり、前記第2反射光学系は、凹面状の反射面を持つ第3反射鏡と所定形状の反射面を持つ第4反射鏡よりなる第2ミラー対と、凸面状の反射面を持つ第5反射鏡と凹面状の反射面を持つ第6反射鏡とよりなる第3ミラー対とからなり、前記第1面からの光は前記第1ミラー対を経由した後に前記第2面上に中間像を形成し、該中間像からの光は前記第3反射鏡及び前記第4反射鏡の順で前記第2ミラー対を反射し、さらに前記第2ミラー対を反射した光は前記第5反射鏡及び前記第6反射鏡の順で前記第3ミラー対を反射して前記第3面へ導かれることを特徴とする反射縮小投影光学系。

【請求項 2】前記第2面上には、視野絞りが配置されていることを特徴とする請求項 1 に記載の反射縮小投影光学系。

【請求項 3】前記第1ミラー対を構成する前記第1及び第2反射鏡のそれぞれの頂点の間に配置された開口絞りをさらに有し、前記開口絞りは、該開口絞りに入射する光束の全周を囲む形状であることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の反射縮小投影光学系。

【請求項 4】前記開口絞りは、前記第3面側がテレンントリックとなるように設定されることを特徴とする請求項 3 に記載の反射縮小投影光学系。

【請求項 5】前記第1反射鏡は、前記第1面からの主光線を前記第1反射鏡の頂点にて反射させるように設定されていることを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の反射縮小投影光学系。

【請求項 6】前記第1反射鏡は、前記第3面側がテレンントリックとなるように位置決めされることを特徴とする請求項 5 に記載の反射縮小投影光学系。

【請求項 7】前記第1及び第2反射光学系は、それぞれ縮小倍率を有することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか 1 項に記載の反射縮小投影光学系。

【請求項 8】前記第1反射鏡の近軸領域での曲率を p_1 とし、前記第2反射鏡の近軸領域での曲率 p_2 、第3反射鏡の近軸領域での曲率 p_3 、前記第4反射鏡の近軸領域での曲率 p_4 、前記第5反射鏡の近軸領域での曲率 p_5 、第6反射鏡の近軸領域での曲率 p_6 とするとき、
$$-0.005 < (p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6) < 0.005$$
 の条件を満足することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 7 のいずれか 1 項に記載の反射縮小投影光学系。

【請求項 9】前記第1反射鏡乃至第6反射鏡の内の少なくとも4つの反射鏡は、非球面形状で形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 8 のいずれか 1 項に記載の反射縮小投影光学系。

【請求項 10】前記第1反射鏡は、第1面側に凸面を向けた反射面を有し、前記第2反射鏡は、第3面側に凹面を向けた反射面を有することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 9 のいずれか 1 項に記載の反射縮小投影光学系。

【請求項 11】前記第1反射光学系及び前記第2反射光学系は、所定の光軸に沿って所定の間隔を持つように配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 10 のいずれか 1 項に記載の反射縮小投影光学系。

【請求項 12】前記第1乃至第6反射鏡は所定の光軸に対して同軸に配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 11 のいずれか 1 項に記載の反射縮小投影光学系。

【請求項 13】前記第1、第3及び第5反射鏡は、各反射面が前記第1面側に向くようにそれぞれ配置され、前記第2、第4及び第6反射鏡は、各反射面が前記第3面側に向くようにそれぞれ配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 12 のいずれか 1 項に記載の反射縮小投影光学系。

【請求項 14】前記第3、第4及び第6反射鏡は、前記第3反射鏡の頂点と第6反射鏡の頂点との間に、前記第4反射鏡の頂点が位置するように、それぞれ配置されていることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 13 のいずれか 1 項に記載の反射縮小投影光学系。

【請求項 15】所定波長を持つ露光光を投影原版へ導く照明光学系と、該照明光学系からの光に基づいて、前記投影原版の縮小像を感光性基板上に形成する投影光学系とを備え、前記投影光学系は、請求項 1 乃至請求項 14 のいずれか 1 項に記載の反射縮小投影光学系で構成され、前記反射縮小投影光学系に対して前記投影原版及び前記感光性基板を相対的に移動させつつ露光を行うことを特徴とする投影露光装置。

【請求項 16】所定波長の光を投影原版へ導き、該光に基づいて前記投影原版の縮小像を感光性基板上に形成する露光方法において、請求項 1 乃至請求項 14 のいずれか 1 項に記載の反射縮小投影光学系を用いて前記縮小像を前記感光性基板上に形成し、該縮小像を前記感光性基板上で走査することを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明が属する技術分野】本発明は、半導体素子や液晶表示素子、または薄膜磁気ヘッドなどのデバイスをリソグラフィ工程により製造する際に用いられる露光装置及び露光方法、これらの露光装置及び方法に好適な反射縮小投影光学系に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、半導体の製造や半導体チップ実装基板の製造ではますます微細化しており、これらのパターンを焼き付ける露光装置はより解像力の高いものが要求されてきている。この要求を満足するためには、光源の波長を短波長化し、かつNA（光学系の開口数）を大きくしなければならない。しかしながら、波長が短くなると光の吸収のために耐える光学ガラスが限られてくる。さらに、短波長の紫外線やX線になると、使用できる光学ガラスは存在しなくなる。このような場合、屈折光学系だけか、または反射屈折光学系で縮小投影光学系を構成することは、まったく不可能となる。

【0003】そのため、反射系のみで投影光学系を構成する反射屈折小光学系が例えば特開平9-211332号公報にて提案されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記特開平9-211332号公報にて開示されている投影光学系は、上記の凹凸凹の構成の反射面からなる2組の縮小光学系により構成されており、この2組の縮小光学系の間に中間像が形成されている。この光学系の利点は、反射面枚数が6面となり、収差補正の自由度が増えることと、自然に反射面枚数が偶数になるので、折り返しのためだけの平面反射鏡が不用なこと、また全体の光学系の縮小倍率をそれぞれの縮小光学系に分担できるので、各縮小光学系での負担を軽くすることができる点などである。

【0005】しかしながら、2つの縮小光学系を、1対のミラー1対でつないでいるために、この接続部分のミラー1対の径が大きくならざるを得ない欠点があった。そこで、本発明は、反射面を6面程度としながらも、反射鏡の径を小さく抑えつつも極めて優れた結像性能を達成し得ることを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するために、本発明の請求項1に記載の発明に係る反射縮小投影光学系では、第1面上の物体を第2面上に結像する第1反射光学系と、前記第2面上の像を第3面上に結像する第2反射光学系とを有し、前記第3面上に前記第1面上の物体の縮小像を形成する反射縮小結像光学系において、前記第1反射光学系は、第1反射鏡と第2反射鏡よりなる第1ミラー1対からなり、前記第2反射光学系は、凹面状の反射面を持つ第3反射鏡と所定形状の反射面を持つ第4反射鏡よりなる第2ミラー1対と、凸面状の反射面を持つ第5反射鏡と凹面状の反射面を持つ第6反射鏡とよりなる第3ミラー1対とからなり、前記第1面上からの光は前記第1ミラー1対を経由した後に前記第2面上に中間像を形成し、該中間像からの光は前記第3反射鏡及び前記第4反射鏡の順で前記第2ミラー1対を反射し、さらに前記第2ミラー1対を反射した光は前記第5反射鏡及び前記第6反射鏡の順で前記第3ミラー1対を反射して前記

第3面へ導かれるようにしたものである。

【0007】また、請求項2に記載の発明に係る反射縮小投影光学系では、前記第2面上には、視野絞りが配置されているようにしたものである。また、請求項3に記載の発明に係る反射縮小投影光学系では、前記第1ミラー1対を構成する前記第1及び第2反射鏡のそれぞれの頂点の間に配置された開口絞りをさらに有し、前記開口絞りは、該開口絞りに入射する光束の全周を囲む形状としたものである。

【0008】また、請求項4に記載の発明に係る反射縮小投影光学系では、前記開口絞りは、前記第3面側がテレセントリックとなるように設定したものである。また、請求項5に記載の発明に係る反射縮小投影光学系では、前記第1反射鏡は、前記第1面からの主光線を前記第1反射鏡の頂点にて反射させるように設定したものである。

【0009】また、請求項6に記載の発明に係る反射縮小投影光学系では、前記第1反射鏡は、前記第3面側がテレセントリックとなるように位置決めしたものである。また、請求項7に記載の発明に係る反射縮小投影光学系では、前記第1及び第2反射光学系は、それぞれ縮小倍率を有するようにしたものである。また、請求項8に記載の発明に係る反射縮小投影光学系では、前記第1反射鏡の近軸領域での曲率をp1とし、前記第2反射鏡の近軸領域での曲率p2、第3反射鏡の近軸領域での曲率p3、前記第4反射鏡の近軸領域での曲率p4、前記第5反射鏡の近軸領域での曲率p5、第6反射鏡の近軸領域での曲率p6とするととき、

$$-0.005 < (p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6) < 0.005$$

の条件を満足するようにしたものである。

【0010】また、請求項9に記載の発明に係る反射縮小投影光学系では、前記第1反射鏡乃至第6反射鏡の内の少なくとも4つの反射鏡は、非球面形状で形成されるようにしたものである。また、請求項10に記載の発明に係る反射縮小投影光学系では、前記第1反射鏡は、第1面側に凸面を向けた反射面を有し、前記第2反射鏡は、第3面側に凹面を向けた反射面を有する構成としたものである。

【0011】また、請求項11に記載の発明に係る反射縮小投影光学系では、前記第1反射光学系及び前記第2反射光学系は、所定の光軸に沿って所定の間隔を持つように配置されるようにしたものである。また、請求項12に記載の発明に係る反射縮小投影光学系では、前記第1乃至第6反射鏡は所定の光軸に対して同軸に配置されているようにしたものである。

【0012】また、請求項13に記載の発明に係る反射縮小投影光学系では、前記第1、第3及び第5反射鏡は、各反射面が前記第1面側に向くようにそれぞれ配置され、前記第2、第4及び第6反射鏡は、各反射面が前記

記第3面側に向くようにそれぞれ配置されるようにしたものである。また、請求項1～4に記載の発明に係る反射縮小投影光学系では、前記第3、第4及び第6反射鏡は、前記第3反射鏡の頂点と第6反射鏡の頂点との間に、前記第4反射鏡の頂点が位置するように、それぞれ配置されるようにしたものである。

【0013】また、請求項1～5に記載の発明に係る投影露光装置では、所定波長を持つ露光光を投影原版へ導く照明光学系と、該照明光学系からの光に基づいて、前記投影原版の縮小像を感光性基板上に形成する投影光学系とを備え、前記投影光学系は、請求項1乃至請求項1～4のいずれか1項に記載の反射縮小投影光学系で構成され、前記反射縮小投影光学系に対して前記投影原版及び前記感光性基板を相対的に移動させつつ露光を行うようにしたものである。

【0014】また、請求項1～6に記載の発明に係る露光方法では、所定波長の光を投影原版へ導き、該光に基づいて前記投影原版の縮小像を感光性基板上に形成する露光方法において、請求項1乃至請求項1～5のいずれか1項に記載の反射縮小投影光学系を用いて前記縮小像を前記感光性基板上に形成し、該縮小像を前記感光性基板上で走査させるようにしたものである。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明の基本的な構成について図1を参照して説明する。図1は後述の第1実施例にかかる反射縮小投影光学系の横断面の光路図であり、図1では光束の幅は横断面のみを表してある。図1に示すように、本発明の反射縮小投影光学系100は、第1面R上の物体を第2面IM上に結像する第1反射光学系10と、第2面IM上の像を第3面W上に結像する第2反射光学系20とを備える構成を基本とし、第3面W上に第1面R上の物体の縮小像を形成するものである。そして、第1反射光学系10は第1反射鏡M1と第2反射鏡M2よりなる第1ミラー対からなり、第2反射光学系20は凹面状の反射面を持つ第3反射鏡(凹面鏡)M3と所定形状の反射面を持つ第4反射鏡M4よりなる第2ミラー対と、凸面状の反射面を持つ第5反射鏡(凸面鏡)M5と凹面状の反射面を持つ第6反射鏡(凹面鏡)M6とよりなる第3ミラー対とからなる。

【0016】ここで、第1面Rからの光L1は第1ミラー対(M1、M2)を経由した後に第2面IM上に中間像を形成し、その中間像からの光は第3反射鏡M3及び第4反射鏡M4の順で第2ミラー対(M3、M4)を反射し、さらに第2ミラー対(M3、M4)を反射した光は第5反射鏡M5及び第6反射鏡M6の順で第3ミラー対(M5、M6)を反射して第3面Wへ導かれる。

【0017】以上の構成により、反射鏡の径を小さく抑えつつも良好なる結像性能を得ることが可能となる。ここで、以上の構成とすれば、第2面IM上に視野絞りFSを配置することが可能となり、第1面R上に視野絞り

FSを配置した場合には、第1面R上を照明する照明系中の視野絞りを設ける必要がなくなるという利点がある。

【0018】また、以上の構成により、第1ミラー対(M1、M2)の頂点(反射面とその反射面の基準軸と交差する点)の間に開口絞りASを配置することが可能となる。この場合には、開口絞りASの開口部形状を、開口絞りASを通過する光束の全周を囲む形状とことができ、通常の開口絞りの構成を採用することができる。このとき、開口絞りASの光軸方向の位置は、第3面W側がテレセントリックとなるように位置決めされることが好ましい。なお、反射面の基準軸とは、その反射面の頂点とその反射面の近軸曲率中心とを結ぶ軸を意味する。

【0019】また、以上の構成によれば、第1ミラー対(M1、M2)の頂点(反射鏡の反射面がその反射鏡の基準軸と交わる点)の間に開口絞りASを配置しない場合には、第1反射鏡M1において、収差の発生を抑えながら第1面Rからの光L1を反射させる機能に加えて、開口絞りASの機能を兼用させることができるのである。この場合、第1反射鏡M1は、第1面Rからの主光線を第1反射鏡M1の頂点にて反射させるように設定されていることが好ましく、さらに、この第1反射鏡M1は、第3面W側がテレセントリックとなるように位置決めされていることがより一層好ましい。

【0020】また、本発明においては、第1反射光学系10が縮小倍率を有することが好ましく、さらに、第2反射光学系20が縮小倍率を有することがより好ましい。このように構成することにより、全体の反射縮小光学系の縮小倍率を各反射光学系(10、20)にて分担できるため、各反射光学系(10、20)の負担を軽くすることができる。

【0021】さて、反射縮小投影光学系においてより一層十分なる光学結像性能を果たすには、第3面W上に形成される像(第1面Rの像)に関する像面(結像面)の十分なるコントロールを図ることが好ましい。この場合、ある像高における円弧状領域(又は輪帶状領域)が良好に収差された円弧状結像面(又は輪帶状結像面)を形成する光学系においても、これらの円弧状結像面(又は輪帶状結像面)のみならず、像面全体をなるべく平坦とすることが望ましい。

【0022】このためには、反射縮小投影光学系における各反射鏡(M1～M6)にて発生するペツツバール和をなるべく小さく抑えることが必要となる。この時、第1反射鏡M1の近軸領域での曲率をp1とし、第2反射鏡M2の近軸領域での曲率p2、第3反射鏡(凹面鏡)M3の近軸領域での曲率p3、第4反射鏡M4の近軸領域での曲率p4、第5反射鏡(凸面鏡)M5の近軸領域での曲率p5、第6反射鏡(凹面鏡)M6の近軸領域での曲率p6とするとき、

$$(1) -0.005 < (p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5 + p_6) < 0.005$$

の条件を満足することが好ましい。

【0023】ここで、条件式(1)の下限を逸脱すると、第3面(感光性基板の表面又はウエハ面)Wに形成される像面が凹状に湾曲し過ぎてしまう。このため、その第3面(感光性基板の表面又はウエハ面)Wにて発生する像面湾曲の量は反射縮小投影光学系にて補正できる範囲を大幅に越えてしまい、像の劣化をもたらす。また、条件式(1)の上限を逸脱すると、第3面(感光性基板の表面又はウエハ面)Wに形成される像面が凸状に湾曲し過ぎてしまう。このため、その第3面(感光性基板の表面又はウエハ面)Wにて発生する像面湾曲の量は反射縮小投影光学系にて補正できる範囲を大幅に越えてしまうことになり、像の劣化をもたらす。

【0024】また、本発明においては、第1反射鏡乃至第6反射鏡(M1～M6)の内の少なくとも4つの反射鏡は、非球面形状で形成されていることが好ましい。これにより、各反射鏡(M1～M6)にて発生する高次の収差をバランス良く補正することができるため、結像性能をより一層良好にすることができる。また、第1反射鏡M1は、第1面R側に凸面を向けた反射面を有し、第2反射鏡M2は、第3面W側に凹面を向けた反射面を有することができる。これにより、第1反射光学系100をコンパクトに構成することが可能となる。

【0025】また、本発明においては、第1反射光学系100と第2反射光学系200とは、光軸方向に沿って所定の間隔を持つように配置されることが好ましい。これにより、各ミラーM1～M6の間に形成される往復光路を少なくすることができるため、結果としてオフ・アクシス形状(基準軸に対して非対称な外形を有する形状)のミラーを少なくすることができる。

【0026】また、本発明においては、第1のミラー対を構成する2つの反射鏡(M1, M2)、第2のミラー対を構成する2つの反射鏡(M3, M4)および第3のミラー対を構成する2つの反射鏡(M5, M6)は、共通の光軸Axに沿って同軸に配置されることが好ましい。換言すれば、各反射鏡(M1～M6)の頂点(反射鏡の反射面がその反射鏡の基準軸と交わる点)がそれぞれ光軸Ax上に位置するように又は各反射鏡(M1～M6)の基準軸がそれぞれ光軸Axと一致するように、各反射鏡(M1～M6)が光軸Axに沿ってそれぞれ所定の間隔を隔てて配置されることが望ましい。これにより、各ミラーM1～M6の鏡筒組み込み・調整が容易となる。

【0027】また、第1、第3及び第5反射鏡(M1, M3, M5)は、各反射面が第1面側Rに向くようにそれぞれ配置され、第2、第4及び第6反射鏡(M2, M4, M6)は、各反射面が第3面W側に向くようにそれぞれ設定されていることが好ましい。特に、第3、第4及び第6反射鏡(M3, M4, M6)は、第3反射鏡M

3の頂点(反射鏡M3の反射面がその反射鏡M3の基準軸と交わる点)と第6反射鏡M6の頂点(反射鏡M6の反射面がその反射鏡M6の基準軸と交わる点)との間に、第4反射鏡M4の頂点(反射鏡M4の反射面がその反射鏡M4の基準軸と交わる点)が位置するように、それぞれ配置されることがより一層好ましい。すなわち、第3反射鏡M3と第6反射鏡M6とが光軸Axの方向において第4反射鏡M4を挟むように配置されることがより一層好ましいのである。これにより、第1面Rと第3面Wとの間の距離を短くできるため、反射縮小投影光学系の全体のコンパクト化を十分に果たすことができる。

【0028】さらに、より一層、反射縮小投影光学系の全体のコンパクト化を達成するためには、第3乃至第6反射鏡(M3～M6)は、第3反射鏡M3の頂点(反射鏡M3の反射面がその反射鏡M3の基準軸と交わる点)と第6反射鏡M6の頂点(反射鏡M6の反射面がその反射鏡M6の基準軸と交わる点)との間に、第4反射鏡M4の頂点(反射鏡M4の反射面がその反射鏡M4の基準軸と交わる点)と第5反射鏡M5(反射鏡M5の反射面がその反射鏡M5の基準軸と交わる点)の頂点が位置するように、それぞれ配置されることがさらに望ましい。すなわち、第3反射鏡M3と第6反射鏡M6とが光軸Axの方向において第4反射鏡M4と第5反射鏡M5とを挟むように配置されることがさらに望ましいのである。

【0029】また、本発明においては、反射縮小投影光学系100は、基本的に、6枚の反射鏡(M1～M6)のみからなる構成とすることが好ましい。これにより、本発明の反射縮小投影光学系100を、波長5～15nmの軟X線領域の光(本明細書では、この光を「EUV(Extreme Ultra Violet)光」と呼ぶ)や、この波長以下の硬X線領域の光を露光光として用いる投影露光装置に適用した場合、当該波長域における反射膜の反射率が低くても、反射面の数が6面だけなので実用上問題ない程度の光量を確保することができる。さらに、反射面が数が少ないため反射面の面形状誤差による結像性能の劣化を招く恐れが少なくなる利点もある。

【0030】次に、図2を参照して、本発明にかかる反射縮小投影光学系100を組み込んだ投影露光装置について説明する。図2には、本発明にかかる反射縮小光学系100を組み込んだ投影露光装置EXの全体構成が概略的に示されている。この投影露光装置EXは、露光用の照明光として波長5～15nm程度の軟X線領域の光(EUV光)を用いて、ステップ・アンド・スキャニ方式により露光動作を行う投影露光装置である。なお、図2においては、投影原版としての反射型レチクルRの縮小像をウエハW上に形成する反射縮小投影光学系の光軸方向をZ方向とし、このZ方向と直交する紙面内方向をY方向とし、これらYZ方向と直交する紙面垂直方向をX方向とする。

【0031】この投影露光装置EXは、投影原版（マスク）としての反射型レチクルRに描画された回路パターンの一部の像を反射縮小投影光学系100を介して感光性基板としてのウエハW上に投影しつつ、レチクルRとウエハWとを反射縮小投影光学系100に対して1次元方向（ここではY軸方向）に相対走査することによって、反射型レチクルRの回路パターンの全体をウエハW上の複数のショット領域の各々にステップアンドスキャン方式で転写するものである。

【0032】ここで、本実施形態における露光用の照明光であるEUV光は、大気に対する透過率が低いため、EUV光が通過する光路は真空チャンバーVCにより覆われて外気より遮断されている。まず、図2における照明光学系について説明する。レーザ光源30は、赤外域～可視域の波長のレーザ光を供給する機能を有し、例えば半導体レーザ励起によるYAGレーザやエキシマレーザなどを適用できる。このレーザ光は第1集光光学系31により集光されて、位置32に集光する。ノズル33は気体状の物体を位置32へ向けて噴出し、この噴出された物体は位置32において高照度のレーザ光を受ける。このとき、噴出された物体がレーザ光のエネルギーで高温になり、プラズマ状態に励起され、低ポテンシャル状態へ遷移する際にEUV光を放出する。

【0033】この位置32の周囲には、第2集光光学系を構成する楕円鏡34が配置されており、この楕円鏡34は、その第1焦点が位置32とほぼ一致するように位置決めされている。楕円鏡34の内表面には、EUV光を反射するための多層膜が設けられており、ここで反射されたEUV光は、楕円鏡34の第2焦点で一度集光した後、第3集光光学系を構成するコリメート鏡としての放物面鏡35へ向かう。放物面鏡35は、その焦点が楕円鏡34の第2焦点位置とほぼ一致するように位置決めされており、その内表面には、EUV光を反射するための多層膜が設けられている。

【0034】放物面鏡35から射出されるEUV光は、ほぼコリメートされた状態でオプティカルインテグレータとしての反射型フライアイ光学系36へ向かう。反射型フライアイ光学系36は、複数の反射面を集積してなる第1の反射素子群36aと、第2の反射素子群36bとの複数の反射面と対応した複数の反射面を有する第3の反射素子群36cとで構成されている。これら第1及び第2の反射素子群36a, 36bを構成する複数の反射面上にもEUV光を反射させるための多層膜が設けられている。

【0035】放物面鏡35からのコリメートされたEUV光は、第1の反射素子群36aにより波面分割され、各々の反射面からのEUV光が集光されて複数の光源像が形成される。これら複数の光源像が形成される位置の近傍のそれぞれには、第2の反射素子群36bの複数の反射面が位置決めされており、これら第2の反射素子群

36bの複数の反射面は、実質的にフィールドミラーの機能を果たす。このように、反射型フライアイ光学系36は、放物面鏡35からの略平行光束に基づいて、2次光源としての多数の光源像を形成する。尚、このような反射型フライアイ光学系36については、本願出願人による特願平10-47400号に提案されている。

【0036】本実施形態では、2次光源の形状を制御するために、第2の反射素子36b近傍には、第1開口絞りとしてのφ絞りa_sが設けられている。このφ絞りa_sは、例えば互いに形状が異なる複数の開口部をターレット上に設けたものからなる。そして、φ絞り制御ユニットASC1により、どの開口部を光路内に配置するのかの制御が行われる。

【0037】さて、反射型フライアイ光学系36により形成された2次光源からのEUV光は、この2次光源位置の近傍が焦点位置となるように位置決めされたコンデンサミラー37へ向かい、このコンデンサミラー37にて反射集光された後に、光路折り曲げミラー38を介して、反射型レチクルR上に達する。これらコンデンサミラー37及び光路折り曲げミラー38の表面には、EUV光を反射させる多層膜が設けられている。そして、コンデンサミラー37は、2次光源から発するEUV光を集光して、反射型レチクルRを重疊的に均一照明する。

【0038】なお、本実施形態では、反射型レチクルRへ向かう照明光と、該反射型レチクルRにて反射されて投影系9へ向かうEUV光との光路分離を空間的に行うために、照明系は非テレセントリック系であり、かつ反射縮小投影光学系100もレチクル側非テレセントリックな光学系としている。さて、反射型レチクルR上には、EUV光を反射する多層膜からなる反射膜が設けられており、この反射膜は、感光性基板としてのウエハW上へ転写すべきパターンの形状に応じたパターンとなっている。この反射型レチクルRにて反射されて、反射型レチクルRのパターン情報を含むEUV光は、反射縮小投影光学系100に入射する。

【0039】反射縮小投影光学系100は、前述において説明した通り、ミラーM1～M4の4枚構成からなり、ミラーM1と反射型レチクルRとの間の光路中（ミラーM1とミラーM2との頂点の間）には、第2の開口絞りとしての可変開口絞りASが配置されている。この可変開口絞りASは、その開口部の口径が可変となるよう構成されており、その口径は可変開口絞り制御ユニットASC2により制御される。

【0040】また、ミラーM2とミラーM3との間の光路の中間像形成位置には視野絞りFSが配置されている。なお、反射縮小投影光学系100を構成するミラーM1～M4は、基材上にEUV光を反射する多層膜を設けたものからなる。反射型レチクルRにて反射されたEUV光は、反射縮小投影光学系100を通過して、ウエハW上の円弧形状の露光領域内に、所定の縮小倍率β

(例えば $|\beta| = 1/4, 1/5, 1/6$) のもとで反射型レチクルRのパターンの縮小像を形成する。なお、本実施形態においては、露光領域の形状は、反射縮小投影光学系100内に設けられた視野絞り100により規定される。

【0041】また、反射型レチクルRは少なくともY方向に沿って移動可能なレチクルステージRSにより支持されており、ウエハWはXYZ方向に沿って移動可能なウエハステージWSにより支持されている。これらのレチクルステージRS及びウエハステージWSの移動は、それぞれレチクルステージ制御ユニットRSC及びウエハステージ制御ユニットWSCにより制御される。露光動作の際には、照明系により反射型レチクルRに対してEUV光を照射しつつ、反射縮小投影光学系100に対して反射型レチクルR及びウエハWを、投影系の縮小倍率により定まる所定の速度比で移動させる。これにより、ウエハW上の所定のショット領域内には、反射型レチクルRのパターンが走査露光される。

【0042】なお、本実施形態において、 σ 絞りAS、可変開口絞りAS、視野絞りFSは、EUV光を十分に遮光するために、Au、Ta、Wなどの金属から構成されることが好ましい。また、以上にて述べた各ミラーの表面の反射面は、EUV光を反射するために反射膜としての多層膜が形成されている。この多層膜は、モリブデン、ルテニウム、ロジウム、珪素、珪素酸化物のうちの複数の物質を積層させて形成されている。

【0043】

【実施例】以下、本発明にかかる反射縮小投影光学系の数値実施例について説明する。図1は第1実施例の反射縮小投影光学系の横断面の光路図であり、図4は第2実施例の反射縮小投影光学系の横断面の光路図である。なお、図1及び図4において、横断面における光束の幅のみを示している。

【0044】第1及び第2実施例の反射縮小投影光学系100は、第1面R上の物体の縮小像を第2面IM上に結像する第1反射光学系10と、第2面IM上の像を第3面W上に縮小結像する第2反射光学系20とを備え、第3面W上に第1面R上の物体の縮小像を形成する。第1反射光学系10は、第1面R側に凹面状の反射面を持つ凹面鏡(第1反射鏡)M1と第3面W側に凹面状の反射面を持つ凹面鏡(第2反射鏡)M2によりなる第1ミラー対によって構成され、第2反射光学系20は、2組のミラー対(第2ミラー対、第3ミラー対)とから構成

されている。第2ミラー対は、第1面R側に凹面状の反射面を持つ凹面鏡(第3反射鏡)M3と第3面W側に所定の反射面を持つ反射鏡(第4反射鏡)M4から構成され、第3ミラー対は、第1面R側に凸面状の反射面を持つ凸面鏡(第5反射鏡)M5と第3面W側に凹面状の反射面を持つ凹面鏡(第6反射鏡)M6とから構成されている。

【0045】ここで、第4反射鏡M4は、図1の第1実施例では平面状の反射面を持つ平面鏡であり、図4の第1実施例では凸面状の球面反射面を持つ凸面鏡である。また、第1反射鏡(凹面鏡)M1、第2反射鏡(凹面鏡)M2、第3反射鏡(凹面鏡)M3、第5反射鏡(凸面鏡)M5及び第6反射鏡(凹面鏡)M6の反射面は、光軸Axに対して回転対称な非球面形状で形成されている。

【0046】また、各反射鏡M1～M6は、共通の光軸Ax上に沿って互いに共軸となるように配置されており、さらに、第2反射鏡(凹面鏡)M2と第3反射鏡(凹面鏡)M3との間の光路での中間像が形成される位置IMには、視野絞りFSが配置されている。また、図1に示す第1実施例においては、光軸Ax上であって第1反射鏡(凹面鏡)M1と第2反射鏡(凹面鏡)M3との間の光路中には開口絞りASが配置されており、図4に示す第2実施例においては、光軸Ax上に配置された第1反射鏡(凹面鏡)M1の直前に開口絞りASが配置されている。

【0047】なお、図4に示す第2実施例においては、第1反射鏡(凹面鏡)M1の直前に配置された開口絞りASを取り除き、光軸Ax上に配置された第1反射鏡(凹面鏡)M1自身を開口絞りASとして機能させても良い。ここで、第1面Rからの光L1は、第1反射鏡(凹面鏡)M1、第2反射鏡(凹面鏡)M2を順に反射して第2面IM上に縮小像(中間像または空間像)を形成し、この縮小像からの光は、第3反射鏡(凹面鏡)M3、第4反射鏡(平面鏡又は凸面鏡)M4、第5反射鏡(凸面鏡)M5、第6反射鏡(凹面鏡)M6を順に反射して第3面Wへ導かれ、この第3面Wにて縮小像が形成される。

【0048】上述の通り、第1及び第2実施例における各反射鏡(M1～M3、M5、M6)は非球面形状を有しているが、この非球面形状は次式で表される。

【0049】

【数1】

$$Y = \frac{C r^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k) C^2 r^2}} + A r^4 + B r^6 + C r^8 + D r^{10}$$

【0050】ここで、

Yは中心接平面から非球面までの距離、

cは中心曲率(近軸領域での中心曲率)

rは光軸からの距離

kはコニック定数

Aは4次の非球面係数

Bは6次の非球面係数

Cは8次の非球面係数

Dは10次の非球面係数である。

【0051】なお、第1実施例の反射縮小投影光学系は、EUV光の波長（露光波長）が13.4nm、縮小倍率 $|\beta|$ が1/4倍、像側の開口数NAが0.14、最大物体高は120mmであり、露光領域は半径30mmで幅1mmの輪帯形状を有している。ここで、走査露光を行うことにより、全体として 26×33 mmのショット領域に対して露光を行うことができる。また、物体面としての第1面Rと最終像面としての第3面Wとの間の距離は1595.0mmであり、複数の反射鏡M1～M6の有効径のうち、最大有効径は344mmである。

【0052】また、第2実施例の反射縮小投影光学系は、EUV光の波長（露光波長）が13.4nm、縮小倍率 $|\beta|$ が1/4倍、像側の開口数NAが0.16、最大物体高は140mmであり、露光領域は半径35mmで幅1mmの輪帯形状を有している。ここで、走査露光を行うことにより、全体として 26×33 mmのショット領域に対して露光を行うことができる。また、物体面としての第1面Rと最終像面としての第3面Wとの間の距離は2185mmであり、複数の反射鏡M1～M6

【第1実施例】

$$D_0 = 757.117396$$

$$WD = 576.935270$$

$$|\beta| = 0.2500$$

$$NA = 0.14$$

面番号	R D Y	T H I	
0	∞	757.117396	第1面R（物体面）
1	-2135.61850	-239.749734	第1反射鏡M1
2	∞	-497.311302	開口絞りAS
3	1633.92933	1076.234142	第2反射鏡M2
4	∞	423.765858	第2面IM（中間像面）
5	-1217.95966	-342.390482	第3反射鏡M3
6	∞	317.354495	第4反射鏡M4
7	322.28640	-676.935270	第5反射鏡M5
8	800.74358	576.935270	第6反射鏡M6
9	∞		第2面W（最終像面）

【0056】

【表2】第1実施例の非球面データ

【第1反射鏡M1】

$$k = -453.902656$$

$$A = -0.570629 \times 10^{-8}$$

$$B = 0.267085 \times 10^{-12}$$

$$C = -0.155813 \times 10^{-16}$$

$$D = 0.661889 \times 10^{-21}$$

【第2反射鏡M2】

$$k = -1.150808$$

$$A = -0.525980 \times 10^{-10}$$

$$B = 0.112304 \times 10^{-15}$$

$$C = 0.676653 \times 10^{-20}$$

の有効径のうち、最大有効径は412mmである。

【0053】以下の表1乃至表4に第1及び第2実施例の反射縮小投影光学系の諸元の値を掲げる。表1及び表3において、左端には各反射面の面番号を示し、RDYは各光学面の曲率半径、THIは各反射面間の面間隔を示す。そして、RDYの列に各反射面の近軸曲率半径を表し、THIの列に各面間隔を表している。また、表1及び表3中において、D0は第1面R（レチクル面）から最も第1面R側の光学面までの距離、WDは最も第2面W側の光学面から第2面（最終像面）Wまでの距離、 β は第1面側から反射縮小投影光学系へ光が入射するときの反射縮小投影光学系の横倍率、NAは第2面W側の開口数をそれぞれ表している。なお、表1及び表2において、近軸曲率半径RDYの符号は第1面R側に向けて凸となる場合を正とし、面間隔THIは反射面の前後で符号が反転するものとしている。

【0054】また、表2及び表4には、第1及び第2実施例の各ミラーM1～M6の非球面データを示す。

【0055】

【表1】

$$D = -0.235135 \times 10^{-24}$$

【第3反射鏡M3】

$$k = -0.186505$$

$$A = -0.217618 \times 10^{-9}$$

$$B = 0.303070 \times 10^{-14}$$

$$C = -0.593817 \times 10^{-19}$$

$$D = 0.490716 \times 10^{-24}$$

【第5反射鏡M5】

$$k = 1.222041$$

$$A = 0.404395 \times 10^{-8}$$

$$B = 0.230630 \times 10^{-12}$$

$$C = 0.232474 \times 10^{-16}$$

$$D = -0.784925 \times 10^{-20}$$

〔第6反射鏡M6〕

 $k = 0.219648$ $A = -0.385094 \times 10^{-10}$ $B = -0.681096 \times 10^{-16}$ $C = -0.862824 \times 10^{-22}$ $D = -0.350660 \times 10^{-27}$

【0057】

【表3】

〔第2実施例〕

 $D_0 = 1049.189977$ $WD = 751.968366$ $|\beta| = 0.2501$ $NA = 0.16$

面番号	R D Y	T H I	
0	∞	1049.189977	第1面R(物体面)
1	-2493.96981	-0.396074	第1反射鏡M1
2	∞	-1018.793902	開口絞りAS
3	2868.12432	1749.721463	第2反射鏡M2
4	∞	362.962079	第2面IM(中間像面)
5	-1217.27799	-365.261250	第3反射鏡M3
6	-1358.85881	358.216517	第4反射鏡M4
7	491.22665	-701.968366	第5反射鏡M5
8	814.86129	751.968366	第6反射鏡M6
9	∞		第2面W(最終像面)

【0058】

【表4】第2実施例の非球面データ

〔第1反射鏡M1〕

 $k = -299.966757$ $A = -0.243328 \times 10^{-8}$ $B = 0.585557 \times 10^{-13}$ $C = -0.121983 \times 10^{-17}$ $D = -0.374022 \times 10^{-22}$

〔第2反射鏡M2〕

 $k = 2.719373$ $A = -0.330976 \times 10^{-10}$ $B = -0.423790 \times 10^{-17}$ $C = 0.430368 \times 10^{-22}$ $D = -0.642242 \times 10^{-27}$

〔第3反射鏡M3〕

 $k = 0.654604$ $A = -0.240362 \times 10^{-9}$ $B = 0.303275 \times 10^{-14}$ $C = -0.329839 \times 10^{-19}$ $D = 0.144797 \times 10^{-24}$

〔第5反射鏡M5〕

 $k = 1.224567$ $A = 0.444080 \times 10^{-8}$ $B = 0.557993 \times 10^{-13}$ $C = 0.138484 \times 10^{-17}$ $D = -0.639359 \times 10^{-22}$

〔第6反射鏡M6〕

 $k = 0.224995$ $A = -0.370854 \times 10^{-10}$ $B = -0.591353 \times 10^{-16}$ $C = -0.893475 \times 10^{-22}$ $D = 0.795162 \times 10^{-29}$

以下の表5に第1及び第2実施例の反射縮小投影光学系の条件対応数値を掲げる。

【0059】

【表5】

	第1実施例	第2実施例
p 1	-0.000936	-0.000802
p 2	-0.001224	-0.000697
p 3	-0.001643	-0.001643
p 4	0.0	0.001472
p 5	0.006206	0.004071
p 6	-0.002498	-0.002454
$p_1+p_2+p_3+p_4+p_5+p_6$	-0.000080	-0.000053

図3及び図5に、第1及び第2実施例の反射縮小投影光学系の第1面R上でのコマ収差図を示す。このコマ収差図は、波長13.4 nmの光を用いて第2面W側から光線追跡することにより得られている。ここで、図3

(a) は物体高Y=122 mmにおけるメリジオナル方向のコマ収差図、図3 (b) は物体高Y=120 mmにおけるメリジオナル方向のコマ収差図、図3 (c) は物体高Y=118 mmにおけるメリジオナル方向のコマ収

差図、図3 (d) は物体高Y=122mmにおけるサジタル方向のコマ収差図、図3 (e) は物体高Y=120mmにおけるサジタル方向のコマ収差図、図3 (f) は物体高Y=118mmにおけるサジタル方向のコマ収差図である。また、図5 (a) は物体高Y=142mmにおけるメリジオナル方向のコマ収差図、図5 (b) は物体高Y=140mmにおけるメリジオナル方向のコマ収差図、図5 (c) は物体高Y=138mmにおけるメリジオナル方向のコマ収差図、図5 (d) は物体高Y=142mmにおけるサジタル方向のコマ収差図、図5 (e) は物体高Y=140mmにおけるサジタル方向のコマ収差図、図5 (f) は物体高Y=138mmにおけるサジタル方向のコマ収差図である。

【0060】図3及び図5からも明らかな通り、第1及び第2実施例の反射縮小投影光学系は、EUV光の13.4nmの単波長において、球面収差、コマ収差ともほぼ無収差に近い状態まで良好に補正され、かつ露光領域内におけるディストーションも良好に補正されている。さて、上記第1及び第2実施例では、5つの反射鏡(M1～M3、M5、M6)の反射面を光軸Axに関して回転対称な高次非球面形状としているため、各反射鏡M1～M6にて発生する高次収差を補正して良好な像像性能を達成している。ここで、各ミラーの反射面の面形状誤差や反射縮小投影光学系の製造時における組み立て誤差等に起因する回転非対称な収差成分を補正するために、回転対称非球面を回転非対称な非球面としても良い。さらに、第4反射鏡M4を光軸Axに関して回転対称な非対称形状として、6つの全ての反射鏡(M1～M6)の反射面を非球面化しても良い。

【0061】また、上述の第1及び第2実施例では、使用波長としてEUV光の13.4nmを用いているが、本発明にかかる反射縮小投影光学系はEUV光のもとの使用には限られない。本発明にかかる反射縮小投影光学系は、例えば5nm以下の硬X線領域や、100nm～200nmの真空紫外領域においても使用可能である。ここで、硬X線領域の光源としては、例えばシンクロトロン放射光などが使用でき、真空紫外領域の光源としては、ArFエキシマレーザ(波長193nm)、F2エキシマレーザ(波長157nm)などを用いることができる。

【0062】このように本発明は上述の実施形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成をとり得る。なお、図1に示す第1実施例及び図4に示す第2実施例では、第3乃至第6反射鏡(M3～M6)は、第3反射鏡M3の頂点(反射鏡M3の反射面がその反射鏡M3の基準軸と交わる点)と第6反射鏡M6の頂点(反射鏡M6の反射面がその反射鏡M6の基準軸と交わる点)との間に、第4反射鏡M4の頂点(反射鏡M4の反射面がその反射鏡M4の基準軸と交わる点)と第5反射鏡M5(反射鏡M5の反射面がその反射鏡M5の基

準軸と交わる点)の頂点が位置するように、それぞれ配置されている。すなわち、以上の各実施例では、第3反射鏡M3と第6反射鏡M6とが光軸Axの方向において第4反射鏡M4と第5反射鏡M5とを挟むように配置されている。

【0063】しかしながら、本発明に係る反射縮小光学系は、図1及び図4に示す各第1実施例に示すものに限るものではない。例えば、図1及び図4に示す各実施例における第3反射鏡M3の頂点を、第5反射鏡M5の頂点に対して第1面R側に配置しても良い。この場合、第3乃至第6反射鏡(M3～M6)は、第5反射鏡M5の頂点(反射鏡M5の反射面がその反射鏡M3の基準軸と交わる点)と第6反射鏡M6の頂点(反射鏡M6の反射面がその反射鏡M6の基準軸と交わる点)との間に、第4反射鏡M4の頂点(反射鏡M4の反射面がその反射鏡M4の基準軸と交わる点)と第3反射鏡M3(反射鏡M3の反射面がその反射鏡M5の基準軸と交わる点)の頂点が位置するように、それぞれ配置される。すなわち、第5反射鏡M5と第6反射鏡M6とが光軸Axの方向において第4反射鏡M4と第3反射鏡M5とを挟むように配置される。このような構成によっても、第1面Rと第3面Wとの間の距離を短くできるため、反射縮小投影光学系全体のコンパクト化を図ることが可能となる。

【0064】

【発明の効果】以上のとおり、本発明によれば、従来のオフナー型や変形オフナー型とは異なる収差補正原理を用いることにより、反射面を6面程度としながらも、反射鏡の径を小さく抑えつつも極めて優れた結像性能を達成することができる。特に、本発明では、像側をテレスコトリックとし、6つの反射面のもとでも光学系の諸収差の対称性を保ちながらバランス良く収差を補正することが可能となり、さらには、有効光束を欠くことなく開口絞りを適切な位置に配置することも可能である。

【0065】また、本発明による光学系を露光装置に搭載されている投影系あるいは半導体製造のための光リソグラフィー工程にて応用すれば、より一層微細な原版(レチクル又はマスク)のパターン像を感光性基板上にほぼ無収差の状態のもとで転写露光することができるため、より高い集積度を持つ良好なる半導体デバイス等を製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施例の反射縮小投影光学系の横断面の光路図である。

【図2】本発明の反射縮小投影光学系を備えた露光装置の構成を示す図である。

【図3】第1実施例のコマ収差図である。

【図4】第2実施例の反射縮小投影光学系の横断面の光路図である。

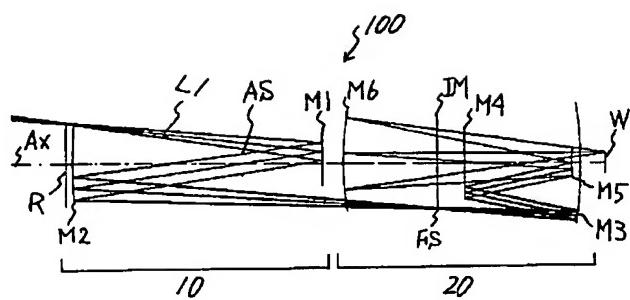
【図5】第2実施例のコマ収差図である。

【符号の説明】

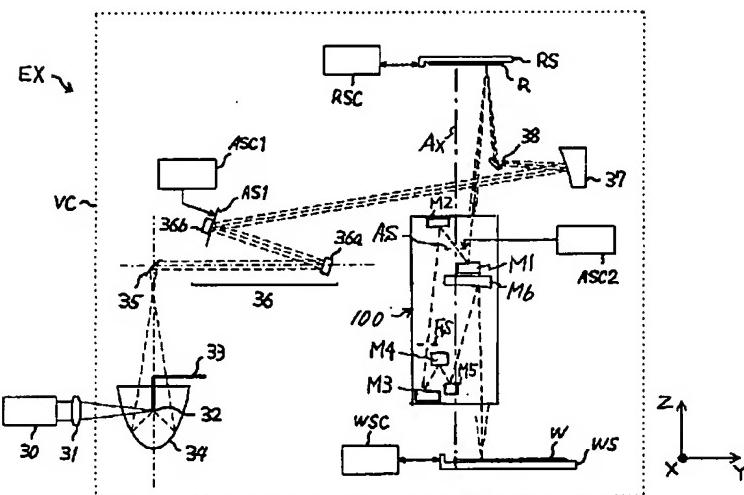
100 : 反射縮小投影光学系
 10 : 第1反射光学系
 20 : 第2反射光学系
 R : 第1面
 IM : 中間像面（空間像面）

W : 第3面
 AS : 開口絞り
 FS : 視野絞り
 Ax : 光軸
 M1～M6 : 反射鏡（ミラー）

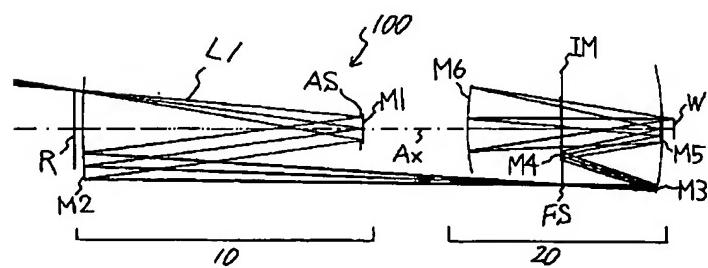
【図1】



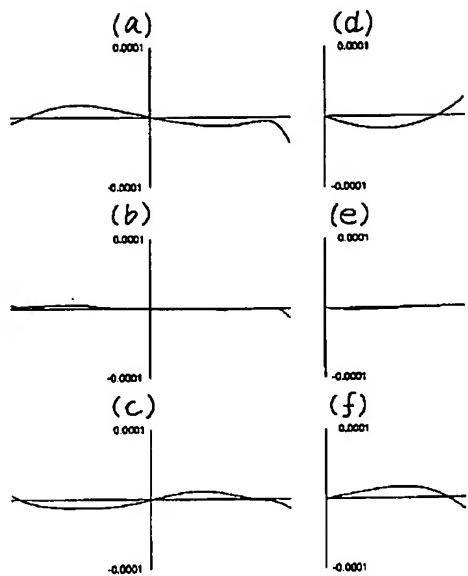
【図2】



【図4】



【図3】



【図5】

